O PAPEL DO ENGENHEIRO CIVIL NO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: DESAFIOS E OPORTUNIDADES NA CONSTRUÇÃO DE INFRAESTRUTURAS NA AMAZÔNIA

THE ROLE OF CIVIL ENGINEERS IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN THE CONSTRUCTION OF INFRASTRUCTURE IN THE AMAZON

FERREIRA, Kalebe Kelvy Freire¹

CHECCHIA, Tatiane Emilio²

LOPES, Raduan Krause³

JESUS, Aedjota Matos de⁴

Resumo: A crescente pressão por desenvolvimento sustentável no setor de construção civil, especialmente na Amazônia, destaca a necessidade de repensar as práticas de engenharia para minimizar os impactos ambientais e sociais. Este artigo teve como objetivo explorar o papel do engenheiro civil na implementação de práticas sustentáveis na região amazônica, analisando os desafios e oportunidades envolvidos. A pesquisa adotou uma abordagem qualitativa, fundamentada em uma revisão bibliográfica de artigos recentes, focando em temas como uso de materiais locais, tecnologias de baixo impacto e gestão de resíduos da construção. Os resultados revelam que o engenheiro civil na Amazônia possui um papel social que vai além da execução de projetos, atuando como facilitador de práticas que respeitam o meio ambiente e as comunidades locais, tornando-se um agente transformador em prol do bem-estar social e da preservação ambiental, e que práticas como a logística reversa com aproveitamento de resíduos e o uso de ferramentas digitais contribuem para um planejamento mais sustentável. Conclui-se que o engenheiro civil tem um papel transformador no desenvolvimento da infraestrutura amazônica, sendo capaz de criar soluções que conciliam progresso e preservação ambiental, com potencial para beneficiar tanto a sociedade atual quanto as gerações futuras.

Palavras-chave: Gestão de resíduos, logística reversa, práticas sustentáveis.

Abstract: The growing pressure for sustainable development in the construction sector, especially in the Amazon, highlights the need to rethink engineering practices to minimize environmental and social impacts. This article aimed to explore the role of civil engineers in implementing sustainable practices in the Amazon region, analyzing the challenges and opportunities involved. The research adopted a qualitative approach, based on a literature review of recent articles, focusing on topics such as the use of local materials, low-impact technologies, and construction waste management. The results reveal that civil engineers in the Amazon have a social role that goes beyond project execution, acting as facilitators of practices that respect the environment and local communities, becoming agents of change for the sake of social well-being and environmental preservation, and that practices such as reverse logistics with the use of waste and the use of digital tools contribute to more sustainable planning. It is concluded that the civil engineer has a transformative role in the development of Amazonian infrastructure, being capable of creating solutions that reconcile progress and environmental preservation, with the potential to benefit both current society and future generations.

Keywords: Waste management, reverse logistics, sustainable practices.

¹ Graduando em Engenharia Civil - Universidade Federal de Rondônia (UNIR) – kalebekelvyfreire@gmail.com
² Mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Docente da Universidade Federal de Rondônia (UNIR) - tatiane@unir.br
³ Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) – Docente da Universidade Federal de Rondônia (UNIR) - raduan.krauser@unir.br
⁴ Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (UFPA) – Docente da Universidade Federal de Rondônia (UNIR) - aedjota.jesus@unir.br

1. INTRODUÇÃO

No contexto contemporâneo, o desenvolvimento sustentável tem se consolidado como um dos principais desafios globais, devido à crescente conscientização sobre os impactos ambientais, sociais e econômicos das atividades humanas. Nas áreas de infraestrutura e construção civil, o desenvolvimento sustentável tem colocado em evidência a necessidade de uma mudança de paradigma na forma como os recursos naturais são utilizados.

Nesse cenário, o engenheiro civil é responsável por projetar e implementar soluções que atendam às necessidades da sociedade enquanto minimizam os impactos ambientais negativos (SCHMUTZ, 2023). A engenharia civil, tradicionalmente associada a grandes obras de infraestrutura, está agora no centro do debate sobre a sustentabilidade, seja pelo uso eficiente de materiais, ou pela gestão adequada de resíduos e pela conservação de recursos naturais, como água e energia (BRANDÃO *et al.*, 2023).

O conceito de sustentabilidade na engenharia civil abrange uma série de princípios que visam promover a eficiência e a responsabilidade ambiental. Entre esses princípios, destaca-se o uso eficiente de materiais, com a adoção de práticas como a reutilização e reciclagem de resíduos da construção civil (RCC), a eficiência energética em todo o ciclo de vida das construções, e a gestão sustentável de recursos hídricos (BRANDÃO *et al.*, 2023). Além disso, há uma crescente ênfase na incorporação de tecnologias e práticas inovadoras, como a logística reversa e os modelos de cadeia de suprimentos sustentáveis, que visam reduzir os impactos ambientais e aumentar a resiliência dos sistemas urbanos (MAUÉS; BELTRÃO, SILVA, 2021).

A Amazônia, além de sua importância ambiental global, o princípio da sustentabilidade na engenharia civil enfrenta pressões decorrentes da expansão urbana e de grandes projetos de infraestrutura (SCHMUTZ, 2023), especialmente a construção de hidrelétricas que desmatam as áreas ao redor das barragens e promovem impactos ambientais generalizados de longo prazo (NICKERSON *et al.*, 2022). Nesse contexto, as atividades tradicionais da construção civil promovem impactos sociais e ambientais, além de gerar um volume considerável de resíduos (BRANDÃO *et al.*, 2023). Portanto, o engenheiro civil deve desenvolver práticas de construção civil aliadas ao desenvolvimento sustentável.

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu como resposta à crescente preocupação com os impactos negativos das atividades humanas sobre o meio ambiente e a sociedade. Definido no Relatório Brundtland como o desenvolvimento que "satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender suas

próprias necessidades" (ONU, 1987), ele busca equilibrar progresso econômico, preservação ambiental e justiça social. Na engenharia civil, o desenvolvimento sustentável é refletido na criação de soluções de infraestrutura que minimizem impactos negativos, promovam o uso eficiente de recursos naturais e contribuam para o bem-estar das comunidades locais.

Os três pilares da sustentabilidade (ambiental, econômico e social) influenciam diretamente as práticas da engenharia civil. O pilar ambiental demanda que os engenheiros desenvolvam projetos que reduzam emissões de poluentes, utilizem materiais recicláveis e adotem práticas de construção verde. O aspecto econômico se relaciona com a viabilidade financeira e a eficiência no uso de recursos, enquanto o pilar social enfatiza o impacto positivo nas comunidades, garantindo que projetos de infraestrutura, como barragens e estradas, beneficiem tanto a sociedade quanto o ambiente local (BRANDÃO *et al.*, 2023).

A engenharia civil pode adotar práticas sustentáveis em todas as fases de um projeto, por exemplo, durante o planejamento, o foco pode estar na escolha de localizações que causem o menor impacto ambiental e social, além da consideração do ciclo de vida dos materiais (MAUÉS; BELTRÃO, SILVA, 2021). Já na execução, busca-se a redução de resíduos e a utilização de tecnologias que promovam eficiência energética. Na operação e manutenção, o desafio é assegurar que as estruturas construídas mantenham sua funcionalidade com o menor consumo de recursos possíveis, promovendo a economia circular e a resiliência das infraestruturas (BRANDÃO *et al.*, 2023).

Assim, ao alinhar-se com o conceito de sustentabilidade, a engenharia civil não apenas impulsiona o desenvolvimento econômico, mas também protege ecossistemas, como a Amazônia, e garante que as infraestruturas sirvam ao bem comum sem comprometer as gerações futuras. O presente artigo tem como objetivo explorar os desafios e as oportunidades para a engenharia civil na promoção do desenvolvimento sustentável na região amazônica.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa adota uma abordagem qualitativa, centrada na análise de documentos coletados, e possui um caráter descritivo. A escolha por essa abordagem se justifica pela natureza do estudo, que busca analisar o papel do engenheiro civil no desenvolvimento sustentável, com enfoque nos desafios e oportunidades na construção de infraestruturas na Amazônia. Nesse sentido, a estratégia de pesquisa empregada é o estudo de revisão bibliográfica, uma vez que se concentra na investigação detalhada de um tema específico, o que

permite a análise crítica e a síntese de conhecimentos previamente publicados (GÜNTHER, 2006).

Para o desenvolvimento desta revisão bibliográfica, foram selecionados artigos indexados na *Web of Science*, com foco nas publicações disponíveis no período compreendido nos últimos cinco anos. Para isso, a busca pelos artigos foi conduzida no mês de outubro de 2024, garantindo a inclusão das pesquisas mais recentes e relevantes sobre o tema. A escolha desse intervalo de tempo permite abranger um período de produção científica, tal que contempla estudos mais recentes publicados nos últimos cinco anos.

A busca foi realizada com os termos indexados na língua inglesa, uma vez que possui maior abrangência e alcance, no qual foram utilizados três grupos: o primeiro associado à construção (*building OR construction*), enquanto o segundo, relacionado a Amazônia (*Amazon*), já o terceiro, relacionado a infraestrutura (*infrastructure OR framework*). Para realizar a busca foram utilizados operadores booleanos AND (e) e OR (ou), tal que o operador AND foi utilizado entre os grupos, ao passo que o operador OR foi utilizado entre os sinônimos de cada grupo, o que resultou em 5 termos de busca (strings de pesquisa). Neste sentido, a linguagem de busca utilizada se deu pela seguinte expressão: ("building" OR "construction") AND ("Amazon") AND ("infrastructure" OR "framework").

Os critérios de inclusão para os documentos analisados foram: relevância para os objetivos do estudo, contribuição para o entendimento do papel do engenheiro civil no desenvolvimento sustentável e discussão sobre desafios e oportunidades na construção de infraestruturas na Amazônia. Por conseguinte, adotou-se como critério de exclusão os artigos que não estavam alinhados com o objeto de estudo, assim como os artigos de revisão e aqueles de acesso restrito ou pagos.

Os dados extraídos dos documentos incluíram: autor(es), ano de publicação, objetivos do estudo, metodologia, resultados principais e conclusões. A síntese das informações foi realizada de maneira a destacar as tendências, os padrões e as lacunas no conhecimento existente. A interpretação dos dados seguiu uma abordagem indutiva, permitindo que os padrões emergissem da análise sem a imposição de teorias ou hipóteses prévias

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Desafios e oportunidades para a engenharia civil na Amazônia

A Amazônia enfrenta desafios devido à sua vasta biodiversidade, clima úmido e isolamento geográfica. Esses fatores dificultam a construção de infraestruturas convencionais e a logística necessária para o desenvolvimento. Schmutz (2023) menciona a construção da Usina de Belo Monte, um exemplo de projeto na Amazônia, que trouxe consequências sociais, como o aumento da violência e urbanização descontrolada. Nickerson *et al.* (2022) destacam que as consequências ambientais da construção de pequenas usinas hidrelétricas na Amazônia exibiram impactos, quando comparado com as regiões ao redor de grandes barragens de hidrelétricas.

A construção de estradas na Amazônia, particularmente na BR-319, apresenta desafios ambientais, técnicos e sociais devido à extensão da floresta, características do terreno e sazonalidade intensa das chuvas. A necessidade de preservar a biodiversidade e minimizar os impactos ambientais exige soluções inovadoras. Para isso, podem ser utilizadas práticas sustentáveis que incluem a utilização de tecnologias de otimização de rotas baseadas em GIS (Sistema de Informação Geográfica) e a aplicação de técnicas de minimização de impacto, como a construção de estradas com redução de áreas de corte e preenchimento de solo.

A drenagem eficiente e o uso de materiais locais reduzem a erosão e o desmatamento, além de minimizar o custo de manutenção, em região com alta pluviosidade e relevo variável (KAZAMA *et al.*, 2021). Além disso, pode-se adotar ferramentas de inteligência artificial para entender e prever a dinâmica da expansão da rede rodoviária amazônica e os impactos sociais, econômicos e ambientais relacionados (VALLE *et al.*, 2024). Essas práticas, quando integradas a um planejamento que considera fatores como proximidade de corpos d'água e a densidade da malha rodoviária, são necessários para garantir que o desenvolvimento da infraestrutura na Amazônia seja feito de forma sustentável.

Portanto, há impactos ambientais relacionados ao desmatamento e à perda de biodiversidade, especialmente em projetos que envolvem a expansão de estradas, hidrelétricas e mineração. Por outro lado, a região apresenta oportunidades de desenvolvimento sustentável, como em projetos de reassentamento, desde que as construções sejam adaptadas ao contexto local, como o uso de materiais tradicionais e técnicas que minimizem os impactos negativos (MAYER *et al.*, 2021).

3.2 Inovações tecnológicas e práticas sustentáveis na engenharia civil

Na Amazônia, a utilização de práticas de construção sustentável pode mitigar os impactos ambientais. Em Belém, por exemplo, são gerados mais de 1200 m³/mês de RCC, gerando cerca de 40.440 kgCO₂/ano. No entanto, foram os RCC são despejados em córregos

urbanos, o que causa impactos negativos nos sistemas de saneamento e drenagem (MAUÉS; BELTRÃO, SILVA, 2021). Já em Rio Branco, foram gerados 3,2 milhões de toneladas de RCC nos últimos 20 anos (SOUZA *et al.*, 2022). Neste sentido, se faz necessário fortalecer as políticas locais para mitigar os impactos dos RCC existentes para contribuir para cidades mais sustentáveis na Amazônia.

Brandão *et al.* (2023) discutem a aplicação de modelos logísticos reversos para gerenciar resíduos da construção civil (RCC), o que é relevante em áreas urbanizadas como Belém e Manaus, onde o aumento da geração de resíduos exige soluções para a reciclagem e reutilização, como plantas de reciclagem de entulhos. Paralelamente, Souza *et al.* (2022) indicam a viabilidade econômica para a instalação de uma usina de reciclagem de RCC, que melhora os aspectos ambientais, econômicos e sociais do setor de construção na Amazônia, pois integra a economia circular e, conseqüentemente, reduz a necessidade de novos materiais e minimiza o impacto ambiental.

Além disso, o uso de materiais locais, como a paxiúba na construção de casas, é outro exemplo de prática sustentável na Amazônia, promovendo a valorização de técnicas tradicionais enquanto se reduz a dependência de materiais industrializados (BELIK, 2021). Em termos de materiais, o desenvolvimento de cimentos de baixo carbono e o reaproveitamento de resíduos industriais, como o metacaulim proveniente da mineração de caulim na Amazônia, são exemplos de soluções inovadoras que aliam desempenho técnico e sustentabilidade (SILVA *et al.*, 2021).

A introdução do Building Information Modeling (BIM), por exemplo, tem sido uma das tecnologias mais promissoras, permitindo o planejamento detalhado de projetos com maior precisão e menor desperdício de recursos. A integração dessa tecnologia com práticas de avaliação do ciclo de vida dos materiais tem sido essencial para identificar e mitigar os impactos ambientais associados às construções. A utilização dessa ferramenta possibilita maior controle sobre o ciclo de vida dos projetos e fomenta a criação de edificações mais eficientes na Amazônia (BILOV *et al.*, 2023).

3.3 Responsabilidade social do engenheiro civil

O papel social do engenheiro civil na Amazônia vai além da execução de projetos, tal que o engenheiro deve atuar como um facilitador de práticas que respeitem as comunidades locais e o meio ambiente. Abel (2022) aponta para os conflitos gerados pela construção de infraestrutura logística para exportação, como os terminais fluviais de grãos, que afetam as populações ribeirinhas. A responsabilidade social do engenheiro envolve a mediação desses

conflitos e a consideração dos direitos das populações indígenas e tradicionais, integrando suas demandas no processo de planejamento e execução de obras. Além disso, o engenheiro civil deve se comprometer com práticas que promovam o desenvolvimento econômico e social da região de forma equitativa, minimizando os impactos negativos e promovendo soluções que beneficiem a todos os envolvidos.

Outro aspecto importante que o engenheiro civil desempenha é na melhoria da qualidade de vida das populações, especialmente em áreas carentes, por meio do desenvolvimento de infraestruturas, como estradas, saneamento básico e habitações. Esses projetos, quando bem planejados, transformam comunidades, proporcionando acesso a serviços básicos, reduzindo desigualdades e promovendo o bem-estar social. Para isso, o engenheiro civil deve ter uma visão ampla de suas responsabilidades, não apenas como um técnico, mas também como um agente de transformação social. A implementação de soluções de infraestrutura adequadas e acessíveis pode, por exemplo, combater doenças relacionadas à falta de saneamento e melhorar a mobilidade e segurança das populações vulneráveis (GRECO, 2020).

A colaboração do engenheiro civil com as comunidades locais faz com que os projetos respeitem a cultura, as tradições e as necessidades das populações. Esse processo de colaboração pode incluir consultas públicas, participação ativa dos moradores e a incorporação de conhecimentos tradicionais nos projetos. Tais práticas promovem um desenvolvimento mais inclusivo e sustentável, onde as soluções de engenharia atendem às necessidades de cada comunidade, minimizando impactos negativos e maximizando os benefícios sociais (KAMARUDDIN; HAMID, GHANI, 2020). Ao adotar uma abordagem participativa, o engenheiro contribui para o fortalecimento social e a preservação cultural das comunidades envolvidas.

Além disso, para que as práticas sustentáveis sejam adotadas, é necessário que haja políticas públicas que incentivem e regulamentem o desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, o engenheiro civil exerce um papel na implementação dessas políticas, seja na aplicação de tecnologias mais limpas, no uso eficiente de recursos ou na promoção de métodos de construção sustentáveis. Políticas que fomentem a sustentabilidade na construção civil, como a adoção de materiais ecológicos e a gestão eficiente de resíduos, podem ser potencializadas por engenheiros que atuam como líderes no processo de mudança. Assim, o engenheiro civil se posiciona não apenas como um executor de projetos, mas como um facilitador da transição para uma infraestrutura sustentável e resiliente, em alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (MATTSON *et al.*, 2024).

4. CONCLUSÃO

O artigo buscou evidenciar o papel do engenheiro civil no avanço do desenvolvimento sustentável na Amazônia, pois, o engenheiro civil é visto não só como executor técnico, mas como agente de transformação, cuja atuação equilibra as necessidades de infraestrutura com a preservação ambiental, promovendo, assim, um modelo de crescimento que atende tanto às demandas atuais quanto às necessidades das futuras gerações.

O estudo também buscou enfatizar que práticas como, a colaboração com as comunidades locais para que os projetos respeitem a cultura e as necessidades das populações tradicionais, promovendo um desenvolvimento mais inclusivo. Outro ponto é a adoção de práticas como a logística reversa no tratamento de resíduos da construção que tem mostrado resultados positivos no Brasil, em especial na Amazônia, onde a geração de resíduos impacta diretamente a sustentabilidade urbana.

Essas práticas buscam não apenas respeitar a cultura local e reduzir a quantidade de resíduos depositados em aterros, mas também reutilizar materiais no próprio ciclo produtivo, diminuindo a necessidade de extração de novos recursos naturais e as emissões de gases de efeito estufa, buscando uma qualidade de vida melhor para a população.

Por fim, estudos futuros podem expandir pontos apresentados neste artigo ao investigar o impacto de tecnologias emergentes, para maior eficiência e sustentabilidade das obras de infraestrutura na Amazônia. Além disso, pesquisas que explorem o impacto a longo prazo das práticas sustentáveis na recuperação de ecossistemas degradados podem nos ajudar a entender a viabilidade e os efeitos dessas técnicas.

REFERÊNCIAS

ABEL, Matthew. Merchants of the north: Infrastructure and indebtedness along Brazil's Amazon estuary. **Economic Anthropology**, v. 9, n. 2, p. 349-360, 2022.

BELIK, Laura. Paxiúba: Traditional Housing in the Western Amazon. **Architectural Theory Review**, v. 25, n. 3, p. 362-377, 2021.

BILOV, Vladyslav, et al. Advantages of building information modeling (bim) during the operational life. **Amazonia Investiga**, v. 12, n. 68, p. 346-363, 2023.

BRANDAO, Rayra *et al.* Reverse supply chain practices for construction and demolition waste in the Brazilian Amazon: a multi-stakeholder view. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 4, n. 25, p. 2245-2261, 2023.

GRECO, Alessandro. Social sustainability: from accessibility to inclusive design. *EGE Revista de Expresión Gráfica en la Edificación*, n. 12, p. 18-27, 2020.

GÜNTHER, Hartmut. **Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa**: esta é a questão?. *Psicologia: teoria e pesquisa*, v. 22, p. 201, 2006.

KAMARUDDIN, T.; HAMID, R. Adul; ABD GHANI, S. Social aspect implementation in sustainable construction. In: IOP conference series: materials science and engineering. **IOP Publishing**, 2020. p. 012036.

KAZAMA, Verônica Satomi et al. Global review on forest road optimization planning: Support for sustainable forest management in Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 492, p. 119159, 2021.

MATTSON, Christopher A. et al. Fifty-Five Prompt Questions for Identifying Social Impacts of Engineered Products. **Journal of Mechanical Design**, v. 146, n. 1, p. 011402, 2024.

MAUÉS, Luiz Maurício; BELTRÃO, Norma; SILVA, Isabela. GHG emissions assessment of civil construction waste disposal and transportation process in the eastern Amazon. **Sustainability**, v. 13, n. 10, p. 5666, 2021.

MAYER, Adam *et al.* Is hydropower worth it? Exploring amazonian resettlement, human development and environmental costs with the Belo Monte project in Brazil. **Energy Research & Social Science**, v. 78, p. 102129, 2021.

NICKERSON, Samuel *et al.* Forest loss is significantly higher near clustered small dams than single large dams per megawatt of hydroelectricity installed in the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 8, p. 084026, 2022.

SCHMUTZ, Rita. Infrastructure-driven development: the local social impact of a large hydropower plant in the Amazon. **The Journal of Development Studies**, v. 8, n. 59, p. 1123-1143, 2023.

SILVA, Micael Rubens Cardoso, *et al.* Valorization of kaolin mining waste from the Amazon region (Brazil) for the low-carbon cement production. **Case Studies in Construction Materials**, v. 15, p. e00756, 2021.

SOUZA, Fernando da Silva *et al.* Mapping and recycling proposal for the construction and demolition waste generated in the Brazilian Amazon. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 176, p. 105896, 2022.

VALLE, Denis *et al.* An automated procedure to determine construction year of roads in forested landscapes using a least-cost path and a Before- After Control- Impact approach. **Remote Sensing in Ecology and Conservation**, v. 10, n. 3, p. 388-400, 2024.